Essenza di Elettronica

Naoki Pross

October 25, 2017

1 L'amplificatore Operazionale (op-amp)

	Ideale	Reale	
Amplificazione di tensione	∞	$10^4 \div 10^8$	
Resistenza d'ingresso[1]	∞	$10^5 \div 10^{15}$	Ω
Resistenza d'uscita[2]	0	$20 \div 500$	Ω
Banda passante	$0 \div \infty$	$0 \div 50$	MHz

$$A_{db} = 20 \cdot \log(G)$$

$$A_{db} = 20 \cdot \log\left(\frac{U_u}{U_i}\right)$$

$$G = 10^{\frac{A_{db}}{20}}$$

2 op-amp funzionamento ad anello chiuso

L'op-amp utilizzato ad anello aperto (open loop) non presenta un comportamento lineare a causa dell'elevato guadagno (A_{ol}). Inoltre (A_{ol}) è dipendente dalla temperatura, quindi può presentare una considerevole variazione. Pertanto la configurazione ad anello aperto non può essere usata per circuiti amplificatori o attenuatori. Occore in questi casi inserire l'op-amp in una rete di *retroazione negativa* (o controreazione) che consenta di limitare il guadagno complessivo e rendere la risposta del circuito *lineare* per escursioni relativamente ampie di V_{in}, definito dal progettista e indipendente da A_{ol}

In zona di funzionamento lineare si considera $U_d = 0$ V per $-V_{sat} < V_o < V_{sat}$, quindi $A_{ol} = \infty$.

2.1 Amplificatore Invertente

Considerando il circuito seguente: Se $V_d = 0$ l'ingresso inverente è a massa virtuale. Pertanto

$$i = \frac{V_i}{R_A} \qquad e \qquad i_F = \frac{V_o}{R_F}$$

Se nell'ingresso invertente non scorre corrente ($i_- = 0$) possiamo asserire che $i = i_F$, quindi

$$-\frac{V_o}{R_F} = \frac{V_i}{R_A} \implies V_o = V_i \cdot \frac{R_F}{R_A}$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \implies A_V = -\frac{R_F}{R_A}$$

La resistenza d'ingresso (R_{in}) del circuito risulterà pari ad R_A. È importante notare, che collegando un carico R_L la corrente d'uscita dell'op-amp risulterà $i_o = i_F + i_L$. Bisogna quindi scegliere R_A, R_F e R_L tali da non superare la corrente massima in uscita dell'op-amp.

[1] Resistenza tra l'ingresso e la massa
[2] Resistenza interna del generatore

2.2 Sommatore invertente

Aggiungendo un ingresso al circuito invertente con un rispettivo resistore, si ottiene un dispositivo in grado di effettuare la somma, cambiata di segno dei segnali in entrata.

La relazione di V_1 e V_2 con l'uscita V_o può essere calcolata in modo analogo a quanto fatto per l'amplificatore invertente. Considerando nulla i_- possiamo quindi dire che $i_f = i_1 + i_2$, con $i_1 = \frac{V_1}{R_1}$ e $i_2 = \frac{V_2}{R_2}$. Pertanto

$$V_o = R_F \cdot i_F = -R_F \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$

Nel caso paricolare in cui $R_F = R_1 = R_2$ si ottiene $V_o = -(V_1 + V_2)$. Senza carico $i_o = i_F = i_1 + i_2$.

2.3 Amplificatore non invertente

La configurazione invertente presenta una R_{in} relativamente ridotta; inoltre, in certi casi, l'inversione di fase può costituire un problema. La configurazione seguente (non invertente) ovvia agli inconvenienti menzionati.

Il segnarle viene applicato all'ingresso non invertente, così da ottenere un guadagno A_V positivo. Se $i_- = 0$ allora $i_f = i$ pertanto $V_- = V_o \frac{R_A}{R_F + R_A}$ considerando il cortocircuito virtuale fra gli ingressi si ha $V_- = V_i$ quindi

$$V_o = V_+ \cdot \frac{R_A + R_F}{R_A} = V_i \cdot \left(1 + \frac{R_F}{R_A} \right)$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_A + R_F}{R_A} = 1 + \frac{R_F}{R_A}$$

2.4 Inseguitore di tensione (buffer)

Un inconveniente piuttosto frequente in elettronica è costituito dall'attenuazione che nasce fra due circuiti, l'uno con elevata resistenza d'uscita, l'altro con ridotta resistenza d'ingresso: occorre introdurre un buffer che funzioni come *adattatore d'impedenza*, eliminando questo problema. Il circuito seguente risponde a questa esigenza.

Esso infatti presenta un guadagno unitario, elevatissima resistenza d'ingresso e bassissima resistenza d'uscita.

$$V_o = V_- = V_i \implies A_V = \frac{V_o}{V_i} = 1$$

2.5 Sommatore non invertente

Il circuito seguente fornisce in uscita, una tensione pari alla somma dei segnali d'ingresso.

Esso può essere visto come un applicazione dell'amplificatore non invertente. Grazie a Millman possiamo calcolare la tensione sull'ingresso non invertente.

$$V_+ = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \qquad se \quad R_1 = R_2 \implies V_+ = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Dall'amplificatore non invertente sappiamo che:

$$V_o = V_+ \cdot \frac{R_A + R_F}{R_A} = V_i \cdot \left(1 + \frac{R_F}{R_A}\right)$$

In maniera più generale:

$$\begin{aligned}
V_o &= \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \cdot \left(1 + \frac{R_F}{R_A}\right) \\
&= \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}\right) \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \left(1 + \frac{R_F}{R_A}\right) \\
&= \frac{V_1 \cdot R_2 + V_2 \cdot R_1}{\cancel{R_1 \cdot R_2}} \cdot \frac{\cancel{R_1 \cdot R_2}}{R_1 + R_2} \cdot \left(1 + \frac{R_F}{R_A}\right) \\
&= \left(V_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_2 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) \cdot \left(1 + \frac{R_F}{R_A}\right)
\end{aligned}$$

2.6 Amplificatore differenziale